

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. August 2005 (18.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/075136 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B23K 1/00**,  
1/002, 1/005, F01D 5/00, B23P 6/00

**OECHSNER, Matthias** [DE/DE]; Westkapeller Ring  
16, 45481 Mülheim a.d. Ruhr (DE). **OTT, Michael**  
[DE/DE]; Hornhof 12, 45478 Mülheim a.d. Ruhr (DE).  
**PAUL, Uwe** [DE/DE]; Hegelstr. 58, 40882 Ratingen  
(DE). **PICKERT, Ursula** [DE/DE]; Muehlenfeld 38,  
45470 Mülheim a.d. Ruhr (DE). **SCHUMANN, Eckart**  
[DE/DE]; Scharpenberg 13, 45481 Mülheim a.d. Ruhr  
(DE). **SEILER, Beate** [DE/DE]; Nachbarsweg 13, 45481  
Mülheim a.d. Ruhr (DE). **SINGER, Robert** [DE/DE];  
Rudelsweiherstr. 49b, 91054 Erlangen (DE). **STEIN-  
BACH, Jan** [DE/DE]; Buchstr. 8, 13353 Berlin (DE).  
**VOLEK, Andreas** [DE/DE]; Dompropststr. 40, 91056  
Erlangen (DE). **VOSBERG, Volker Richard** [DE/DE];  
Dr.-Türk-Str. 2b, 45476 Mülheim a.d. Ruhr (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/000884

(22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Januar 2005 (28.01.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
04002332.7 3. Februar 2004 (03.02.2004) EP

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(71) Anmelder: **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE];  
Dachaeur Strasse 665, 80995 München (DE).

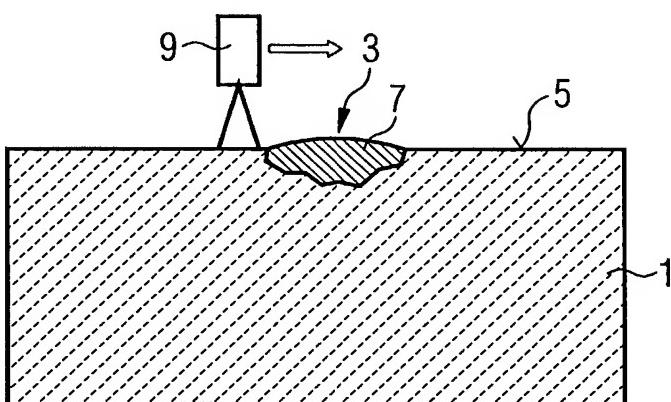
(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **GOLDSCHMIDT,  
Dirk** [DE/DE]; Hagebuttenweg 14, 47445 Moers (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REPAIR SOLDERING METHOD FOR REPAIRING A COMPONENT COMPRISING A BASE MATERIAL WITH  
AN ORIENTED MICROSTRUCTURE

(54) Bezeichnung: REPARATUR-LOTVERFAHREN ZUM REPARIEREN EINES BAUTEILS, WELCHES EIN BASISMATE-  
RIAL MIT EINER GERICHTETEN MIKROSTRUKTUR UMFAST



(57) Abstract: The invention relates to a method for repairing components (1) comprising a base material with an oriented microstructure, wherein the repair point (3) comprises a correspondingly oriented microstructure as the surrounding base material. According to the inventive method, solder (7) is applied in the region of a point (3) which is to be repaired and is soldered to the component (1) by means of a heating effect produced by a device (9). A temperature gradient, i.e., approximately a temperature characteristic, is produced during the heating effect, said temperature characteristic ranging from a high to a low temperature in the region of the point (3) which is to be repaired.

(57) Zusammenfassung: In einem erfundungsgemäßen Reparaturverfahren zum Reparieren von ein

Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur umfassenden Bauteilen (1) erfolgt die Reparatur derart, dass die reparierte Stelle (3) entsprechend gerichtete Mikrostruktur wie das umgebende Basismaterial aufweist. Im erfundungsgemäßen Verfahren wird ein Lot (7) im Bereich einer zu reparierenden Stelle (3) aufgebracht und mittels Wärmeeinwirkung, durch ein Gerät (9) hergestellt, mit dem Bauteil (1) verlötet. Während der Wärmeeinwirkung wird dabei ein Temperaturgradient, d.h. etwa ein Temperaturverlauf von einer höheren zu einer niedrigeren Temperatur, im Bereich der zu reparierenden Stelle (3) erzeugt.

WO 2005/075136 A1



MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

REPARATUR-LOTVERFAHREN ZUM REPARIEREN EINES BAUTEILS, WELCHES EIN BASISMATERIAL MIT EINER GERICHTETEN MIKROSTRUKTUR UMFAST

Beschreibung

Reparaturverfahren zum Reparieren eines Bauteils, welches ein Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur umfasst

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Reparaturverfahren zum Reparieren eines Bauteils, welches ein Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur umfasst, sowie ein Bauteil mit einem Basismaterial, welches eine gerichtete Mikrostruktur aufweist, und einer Lötstelle, an der ein Lot mit dem Basismaterial verlötet ist.

10  
15  
Beispielsweise Bauteile von Turbinen sind heutzutage nicht selten aus Materialien mit einer gerichteten Mikrostruktur hergestellt. Als Materialien mit einer gerichteten Mikrostruktur sollen hierbei insbesondere einkristalline Materialien und Materialien, die eine Kornstruktur aufweisen, wobei die Ausdehnung der Körner eine gemeinsame Vorzugsrichtung aufweist, anzusehen sein. Z.B. können die Körner in einer bestimmt Vorzugsrichtung eine größere Abmessung aufweisen, als in den übrigen Richtungen. Bauteile mit einer derartigen Kornstruktur werden auch als direktonal erstarrte Bauteile (directional solidified) bezeichnet.

20  
25  
30  
Stark belastete Bauteile, wie etwa Turbinenschaufeln, unterliegen während des Betriebs einer hohen thermischen und mechanischen Beanspruchung, die zu Materialermüdungen und infolgedessen zu Rissen führen kann. Da das Herstellen von Bauteilen aus Basismaterialien, welche eine gerichtete Mikrostruktur aufweisen, relativ kostspielig ist, ist man in der Regel bemüht, derartige Bauteile nach Eintritt von Schädigungen zu reparieren. Damit wird die Funktionstüchtigkeit wieder hergestellt und das Bauteil für eine weitere Revisionsperiode einsetzbar.

35

Eine Möglichkeit der Reparatur beschädigter Bauteile ist beispielsweise das Löten. Bei diesem Löten wird ein Lot im

Bereich der Beschädigung auf das Material des Bauteils, also auf das Basismaterial, aufgebracht und mittels Wärmeeinwirkung mit dem Basismaterial verbunden. Nach dem Löten weist das Lotmaterial jedoch bei der bisher üblichen

5 Verfahrensweise keine einkristalline oder direktional erstarrte Struktur auf. Eine ungeordnete Struktur besitzt jedoch im Vergleich zu einer gerichteten Mikrostruktur schlechtere Materialeigenschaften - vor allem im Hochtemperaturbereich -, sodass die Lötstelle schlechtere Material-  
10 eigenschaften als das umgebende Basismaterial aufweist.

Zum Reparieren von beschädigten Bauteilen mit einer gerichteten Mikrostruktur stehen Schweißverfahren zur Verfügung, mit denen auch gerichtete Mikrostrukturen in den verschweißten  
15 Strukturen erzeugt werden können. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise in EP 089 090 A1 offenbart.

Weitere Verfahren bzw. zu verwendende Lotpulver sind bekannt aus den Publikationen US 6,283,356, US 4,705,203, US  
20 4,900,394, US 6,565,678, US 4,830,934, US 4,878,953, US 5,666,643, US 6,454,885, US 6,503,349, US 5,523,170, US 4,878,953, US 4,987,736, US 5,806,751, US 5,783,318, US 5,873,703.

25 Die US-PS 6,050,477 offenbart ein Verfahren zum Verbinden zweier Bauteilelemente, wobei das Lot großflächig zwischen den beiden Bauteilkomponenten aufgebracht wird und ein Temperaturgradient benutzt wird, um dieselbe gerichtete Mikrostruktur zu erzeugen.

30 Die US-PS 2003/0075587 A1 offenbart ein Reparaturverfahren eines Bauteils mit einer gerichtet erstarrten Mikrostruktur, wobei jedoch die zu reparierende Stelle nicht dieselbe Mikrostruktur wie das zu reparierende Bauteil aufweist.

35 Die US-PS 6,495,793 offenbart ein Reparaturverfahren für nickelbasierte Superlegierungen, bei dem ein Laser verwendet

wird, wobei der Laser das Material, dass über einen Materialförderer zugeführt wird, aufschmilzt. Eine Aussage über die Mikrostruktur des Bauteils oder der Reparaturstelle wird nicht getroffen.

5

Die EP 1 258 545 A1 offenbart ein Lötverfahren ohne Temperaturgradienten.

Die EP 1 340 567 A1 offenbart ein Verfahren, bei dem 10 zusätzliches Material zu der bereits aufgeschmolzenen zu reparierenden Stelle zugefügt wird. Es wird ebenfalls ein Temperaturgradient verwendet, um die Bauteile mit gerichteter Mikrostruktur zu behandeln.

15 Die US-PS 4,878,953 offenbart ein Verfahren zur Reparatur eines Bauteils mit gerichteter Mikrostruktur, bei dem Material auf die reparierende Stelle mittels Pulver aufgetragen wird und diese Stelle eine feinkörnige Mikrostruktur aufweist.

20

Schweißverfahren schmelzen jedoch das Basismaterial des zu reparierenden Bauteils auf. Strukturell tragende Bereiche eines Bauteils dürfen daher nicht geschweißt werden, da aufgrund des Aufschmelzens des Basismaterials die Integrität der 25 gerichteten Struktur verloren ginge. Deshalb werden Bauteile mit einer gerichteten Mikrostruktur nur dann mittels der Schweißverfahren repariert, wenn sich die Beschädigungen nicht in strukturell tragenden Bereichen des Bauteils befinden. Befindet sich dagegen eine Beschädigung in einem strukturell tragenden Bereich des Bauteils so wird, falls eine 30 gerichtete Schweißstruktur verlangt wird, dieses Bauteil als nicht reparierbar deklariert und gegen ein intaktes Bauteil ausgetauscht.

35 Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Reparaturverfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem beschädigte Bauteile, welche ein Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur

umfassen, auch dann repariert werden können, wenn sich die Beschädigung in einem strukturell tragenden Bereich des Bauteils befindet.

5 Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Bauteil mit einem Basismaterial, welches eine gerichtete Mikrostruktur aufweist, und einer Reparaturstelle in einem strukturell tragenden Bereich des Bauteils zur Verfügung zu stellen, bei dem das Material der Reparaturstelle gegenüber 10 konventionellen Bauteilen mit einer in einem strukturell tragenden Bereich vorhandenen Reparaturstelle des Bauteils verbesserte Materialeigenschaften aufweist.

Die erste Aufgabe wird durch ein Reparaturverfahren nach Anspruch 1, die zweite Aufgabe durch ein Bauteil nach Anspruch 15 9 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

In einem erfindungsgemäßen Reparaturverfahren zum Reparieren eines Bauteils, welches ein Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur umfasst, erfolgt die Reparatur derart, dass die reparierte Stelle eine entsprechend gerichtete Mikrostruktur wie das umgebende Basismaterial aufweist. Das Basismaterial kann dabei insbesondere ein Material auf 20 Nickelbasis sein. Im erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Lot im Bereich einer zu reparierenden Stelle aufgebracht und mittels Wärmeeinwirkung mit dem Bauteil verlötet. Während der Wärmeeinwirkung wird dabei ein Temperaturgradient, d.h. ein Temperaturverlauf von einer höheren zu einer niedrigeren 25 Temperatur, im Bereich der zu reparierenden Stelle erzeugt.

Beim Lötprozess wird nur das Lot, nicht aber das Basismaterial, aufgeschmolzen und wieder erstarrten gelassen, wobei das Lot eine Verbindung mit dem Basismaterial eingeht, 30 so dass das erfindungsgemäße Reparaturverfahren auch in strukturell tragenden Bereichen des Bauteils zur Anwendung kommen kann, ohne die guten Materialeigenschaften des

Basismaterials zu beeinträchtigen. Mittels des Temperaturgradienten lässt sich ein epitaktisches Anwachsen und Erstarren des Lotes erzielen, also ein Wachstum, in welchem die kristalline Orientierung des Lots beim Erstarren 5 von der des Substrates, also des Basismaterials, bestimmt wird. Der Temperaturgradient ermöglicht daher das Entstehen eines einkristallinen Lotbereiches oder einer anderen gerichteten Mikrostruktur im verlöteten Lot mit gegenüber einer ungerichteten Mikrostruktur ähnlich verbesserten Werkstoffeigenschaften. Das gerichtete Wachstum erfolgt dabei in Richtung des Temperaturgradienten, also in Richtung von der niedrigeren zu der höheren Temperatur. Aufgrund des gerichteten Wachstums und der daraus resultierenden gerichteten Mikrostruktur weist das verlötete Lot ähnlich 10 gute Materialeigenschaften wie das Basismaterial des Bauteils 15 auf.

Vorzugsweise wird der Temperaturgradient im erfindungsgemäßen Reparaturverfahren derart erzeugt, dass er in Richtung der 20 Orientierung der gerichteten Mikrostruktur des Basismaterials des Bauteils verläuft. Auf diese Weise lässt sich ein gerichtetes Wachstum des sich verfestigenden Lots in Richtung der Orientierung der gerichteten Mikrostruktur des Basismaterials erreichen.

25 In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Reparaturverfahrens weist das Lot einen ersten Bestandteil mit einer Schmelztemperatur, die niedriger ist, vorzugsweise deutlich niedriger, als die Schmelztemperatur des Basismaterials des Bauteils und einen zweiten Bestandteil mit einer hohen Festigkeit und einer Schmelztemperatur, die über der Schmelztemperatur des ersten Bestandteils aber unterhalb der Schmelztemperatur bis hin zur Schmelztemperatur des Basismaterials liegt, auf. Das Lot wird in dieser Weiterbildung des 30 Verfahrens derart im Bereich der zu lögenden Stelle aufgebracht, dass der Anteil an erstem Bestandteil im Lot in der örtlichen Nähe des Basismaterials höher ist als in einem vom 35

Basismaterial weiter entfernten Bereich. In dieser Ausgestaltung des Verfahrens dient der erste Bestandteil mit der niedrigen Schmelztemperatur dazu, die Verbindung des Lots mit dem Basismaterial herzustellen, während der Bestandteil mit der 5 hohen Schmelztemperatur für die Widerstandsfähigkeit (Festigkeit) des verlöteten Lots sorgt. Dadurch, dass das Lot im Bereich des Basismaterials einen höheren Anteil des ersten Bestandteils umfasst, lässt sich eine gute Verbindung des verlöteten Lots mit dem Basismaterial herstellen. Andererseits 10 ist in Bereichen, die eine größere Entfernung vom Basismaterial aufweisen, verhältnismäßig mehr an zweitem Bestandteil, also am Bestandteil mit der höheren Widerstandsfähigkeit, vorhanden, sodass die beim späteren Betrieb des Bauteils einer stärkeren Belastung ausgesetzten Bereiche der Lötstelle 15 eine hohe Widerstandsfähigkeit aufweisen.

Zum Bereitstellen der Wärmeeinwirkung können im erfindungsgemäßen Verfahren alle Heizvorgänge Verwendung finden, die in der Lage sind, einen Temperaturgradienten im Bereich einer zu 20 lötenden Stelle, d.h. im Lot, herzustellen. Beispielsweise können optische Heizvorgänge, etwa mittels Laser oder konventionellen Beleuchtungsvorrichtungen, oder induktive Heizvorgänge, etwa mittels Heizspulen, zur Anwendung kommen. Alternativ kann auch ein Gießofen zum Gießen von Materialien mit 25 direktionale gerichteter Mikrostruktur Verwendung finden.

Zum induktiven Heizen kann beispielsweise eine sog. "Hot Box" zum Einsatz kommen. Unter einer "Hot Box" ist im wesentlichen eine Vorrichtung mit einer Aufnahme zum Aufnehmen des zu 30 reparierenden Bauteils sowie einer beweglich in der Aufnahme angeordneten Induktionsspule zum lokalen Erwärmen des Bauteils zu verstehen. Die Aufnahme kann während des Lötprozesses mit einem Inertgas, beispielsweise Argon, geflutet werden.

35

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Reparaturverfahrens kann eine Wärmebehandlung des Basismaterials in den Pro-

zess des Verlötens des Lotes integriert sein. Dadurch lässt sich gleichzeitig mit dem Reparieren ein Wiederaufbereiten (Rejuvenation) der Basismaterialeigenschaften realisieren.

5 Ein erfindungsgemäßes Bauteil umfasst ein Basismaterial, welches eine gerichtete Mikrostruktur aufweist, und mindestens eine Reparaturstelle, an der ein Reparaturmaterial mit dem Basismaterial verbunden ist, wobei das Reparaturmaterial entsprechend gerichtete Mikrostruktur aufweist wie das  
10 Basismaterial. Es zeichnet sich dadurch aus, dass sich die Reparaturstelle in einem strukturell tragenden Bereich des Bauteils befindet. Das Bauteil kann insbesondere als Turbinenbauteil, beispielsweise als Turbinenschaufel, ausgestaltet sein.

15 Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen.

20 Fig. 1a - 1c zeigen ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäße Reparaturverfahren.

25 Fig. 2 zeigt eine Abwandlung des Ausführungsbeispiels.

In Figur 1a ist in schematischer Ansicht ein beschädigtes Bauteil 1 dargestellt.

30 Das Basismaterial des Bauteils 1 umfasst eine Legierung auf Nickelbasis und weist eine gerichtete Mikrostruktur, die in den Figuren durch kurze diagonal verlaufende Striche angedeutet ist, auf. Die Beschädigung 3 des Bauteils 1 befindet sich im Bereich der Oberfläche 5 und ist in der  
35 Figur als Vertiefung dargestellt.

Zum Reparieren des geschädigten Bauteils 1 wird ein Lot 7, das im vorliegenden Ausführungsbeispiel in Pulverform vorliegt, auf die die vorgereinigte beschädigte Stelle 3 aufgebracht und anschließend mittels Wärmeeinwirkung mit dem

5 Basismaterial des Bauteils 1 verlötet (Fig. 1b).

Insbesondere wird das gesamte benötigte Lot 7 in die vorgereinigte beschädigte Stelle 3 ggf. mit einem kleinen Überschuss eingebracht und insbesondere nicht während des Aufschmelzens schrittweise hinzugeführt.

10 Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Materialzusammensetzung des Lotes der des Bauteils ähnlich ist. Insbesondere muss das Lot 7 jedoch einen Bestandteil umfassen, dessen Schmelztemperatur niedriger ist, als die Schmelztemperatur des Basismaterials des Bauteils 1, damit mittels der Wärmeeinwirkung ein  
15 Aufschmelzen des Lotes 7, nicht jedoch des Basismaterials des Bauteils 1 erfolgt.

Um die Wärmeeinwirkung auf das Lot 7 zu verwirklichen, ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Laser 9 vorhanden, welcher das aufzuschmelzende Lot bestrahlt und ihm so die zum Schmelzen nötige Wärme zuführt.

Erfindungsgemäß wird während des Lötvorgangs gezielt in Vorzugsrichtung der Mikrostruktur des Basismaterials ein Temperaturgradient im Bereich der Beschädigung 3 hergestellt. Das Herstellen des Temperaturgradienten kann dabei erfolgen, indem das Bauteil 1 und der Laser 9 relativ zueinander bewegt werden. Im Ausführungsbeispiel wird daher der Laser parallel zur Oberfläche 5 über das Lot 7 geführt. Die Geschwindigkeit, mit der das Führen des Lasers 9 über das Lot 7 erfolgt, ist dabei derart gewählt, dass sich der gewünschte Temperaturgradient im Bereich der Beschädigung 3, d.h. im Lot 7, einstellt. Der Temperaturgradient induziert dabei das Entstehen einer epitaktisch gerichteten Mikrostruktur, wenn das durch den Laser 9 aufgeschmolzene Lot 7 wieder erstarrt. Die Steilheit des Temperaturgradienten kann dabei beispielsweise durch die Geschwindigkeit, mit der Laser 9 und

Bauteil 1 relativ zueinander bewegt werden, oder die Laserleistung eingestellt werden. Unter der Steilheit des Gradienten ist hierbei die Zu- oder Abnahme der Temperatur pro Längeneinheit zu verstehen. Die Steilheit des  
5 Temperaturgradienten, die zum Entstehen einer gerichteten Mikrostruktur im sich verfestigenden Lot führt, hängt dabei von der Zusammensetzung des Lotes ab.

10 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel erstreckt sich die Vorzugsrichtung der gerichteten Mikrostruktur im Basismaterial des Bauteils 1 innerhalb der Zeichenebene von links nach rechts. Um im erstarrenden Lot 7 das Entstehen einer gerichteten Mikrostruktur zu induzieren, deren Vorzugsrichtung mit der im Basismaterial übereinstimmt, erfolgt die Bewegung des  
15 Lasers 9 relativ zum Bauteil 1 parallel zur Vorzugsrichtung der gerichteten Mikrostruktur des Basismaterials.

20 Figur 1c zeigt das Bauteil 1 nach dem Reparieren der Beschädigung 3. Wie durch die diagonal verlaufenden Striche im Bereich des nun verfestigten Lots 7 angedeutet ist, weist das verfestigte Lot 7, also das Reparaturmaterial, eine gerichtete Mikrostruktur auf, welche dieselbe Vorzugsrichtung wie die gerichtete Mikrostruktur des Basismaterials des Bauteils 1 besitzt.

25 Ebenso kann der Laser 9 mit seinen Laserstrahlen so aufgeweitet sein, dass er beispielsweise das gesamte Lot bestrahlt und jedenfalls dadurch ganz erwärmt.  
Ein Verfahren des Lasers ist also nicht unbedingt notwendig.  
30 Durch die Abfuhr von Wärme des Lots 7 in das Substrat des Bauteils 1 entsteht innerhalb des Lots 7 ein Temperaturgradient. An der äußeren Oberfläche des Lots 7 ist die Temperatur am höchsten und an der Grenzfläche des Lots 7 zu dem Substrat des Bauteils 1 hin ist es kälter. Ggf. kann  
35 das Bauteil 1 auf der Rückseite, der Beschädigung 3 gegenüber oder irgendwo sonst gekühlt oder erwärmt werden, um einen gewünschten bestimmten Temperaturgradienten in Abhängigkeit

von der Geometrie des Bauteils 1 und der Beschädigung 3 einzustellen.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde zum Zuführen der Wärme ein Laser 9 verwendet. Alternativ ist jedoch auch die Verwendung anderer optischer Heizmethoden, beispielsweise das Beleuchten mit einer konventionellen Beleuchtungsvorrichtung, möglich. Außerdem ist es auch möglich, statt optischer Heizmethoden induktive Heizmethoden zu verwenden, in denen das Lot mittels Heizspulen geheizt wird. Schließlich besteht auch die Möglichkeit, spezielle Heizöfen, wie etwa eine sog. "Hot Box" oder einen Gießofen zum Herstellen eines Gussteils mit direktonal gerichteter Mikrostruktur zu verwenden. Auf jeden Fall muss das verwendete Verfahren geeignet sein, einen Temperaturgradienten in der für die Erstarrung gewünschten Richtung im Bereich der Beschädigung bzw. der mit Lot verfüllten Beschädigung zu erzeugen. Bei Verwendung eines Ofens kann dies beispielsweise durch einen stationären Ofen erfolgen, der es ermöglicht, die Heizwirkung in verschiedenen Bereichen des Ofens getrennt einzustellen.

Eine Abwandlung des mit Bezug auf die Figuren 1a bis 1c dargestellten Ausführungsbeispiels ist in Figur 2 dargestellt. Im der Abwandlung des Ausführungsbeispiels umfasst das auf die beschädigte Stelle 3 aufgetragene Lot 17 zwei Bestandteile, von denen der erste Bestandteil eine Schmelztemperatur aufweist, die deutlich niedriger ist, als die des Basismaterials des Bauteils 1. Der zweite Bestandteil weist hingegen eine Schmelztemperatur auf, die im Bereich zwischen der Schmelztemperatur des ersten Bestandteils und der Schmelztemperatur des Basismaterials liegt. Außerdem weist der zweite Bestandteil insbesondere auch eine hohe Festigkeit etwa in der Größenordnung des Basismaterials auf.

Das Auftragen des pulverförmigen Lots 17 auf die vorgereinigte beschädigte Stelle 3 erfolgt derart, dass zuerst eine Lotzusammensetzung 18 aufgetragen wird, in welcher der erste

Bestandteil einen relativ hohen Anteil am Pulver ausmacht. Anschließend wird eine Lotzusammensetzung 19 aufgetragen, in der der erste Bestandteil gegenüber dem zweiten Bestandteil verringert ist. Wenn nun ein Verlöten des Lots 17 mit dem 5 Basismaterial erfolgt, erleichtert der hohe Anteil des ersten Bestandteils, also des Bestandteils mit der niedrigen Schmelztemperatur, ein einfaches Verlöten des Lots mit dem Basismaterial, wohingegen die Lotzusammensetzung 19, in dem der Anteil des ersten Bestandteils verringert ist, eine 10 höhere Festigkeit der reparierten Stelle gewährleistet.

Ebenso ist es möglich, dass die Lotzusammensetzung 18 eine höhere Festigkeit der zu reparierenden Stelle 3 gewährleistet und die oberflächennähere Lotzusammensetzung 19 einen höheren 15 Oxidations- und/oder Korrosionsschutz aufweist. Statt diesem zweischichtigen Aufbau des Lots 7 kann das Lot 7 in der zu reparierenden Stelle 3 einen Materialgradienten vom Grund der Stelle 3 bis zur Oberfläche 5 des Bauteils aufweisen, in dem sich die Zusammensetzung des Lots 7 kontinuierlich verändert. 20

In beiden Ausführungsvarianten des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es auch möglich, die Wärmeeinwirkung zum Verlöten des Lotes 7, 17 mit dem Basismaterial des Bauteils 1 25 gleichzeitig zum Durchführen einer Wärmebehandlung des Basismaterials zu verwenden, um so eine Wiederaufbereitung (Rejuvenation) der Basismaterialeigenschaften zu ermöglichen.

Im beschriebenen Ausführungsbeispiel und seiner Abwandlung 30 wird das Lot in Pulverform auf die zu reparierende Stelle aufgetragen. Alternativ kann es jedoch auch als Folie oder Paste aufgetragen werden.

Das Pulver des Lots liegt beispielsweise als Nanopulver vor, d. h. die Korngrößen des Pulvers sind kleiner 500 oder 35 kleiner 300 oder kleiner 100 Nanometer. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass ein Lot aus Nanopulver eine niedrigere Schmelztemperatur gegenüber einem konventionellen Pulver mit

mikrometergroßen Körnern aufweist. Ebenso kann das Pulver des Lots aus einem Gemisch von Nanopulver und konventionellen Pulver, d. h. einem Pulver, das Korngrößen im Mikrometerbereich aufweist, bestehen. Dadurch kann die 5 Schmelzpunktterniedrigung gezielt eingestellt werden. Ebenso kann die Folie oder Paste, mittels der das Lot aufgetragen wird, teilweise oder ganz ein Pulver aus Nanopulver aufweisen.

Der Vorteil gegenüber dem Stand der Technik besteht darin, 10 dass hier das Pulver nicht über einen Pulverförderer zugeführt wird, sondern bereits verdichtet der zu reparierenden Stelle 3 zugeführt wird. Ein Nanopulver über eine Düse einer zu reparierenden Stelle zu zuführen, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, ist fast unmöglich, da 15 die Körner des Nanopulvers viel zu klein sind und sich sehr breit streuen würden.

## Patentansprüche

1. Reparaturverfahren zum Reparieren eines Bauteils (1),  
welches ein Basismaterial mit einer gerichteten Mikrostruktur  
5 umfasst,

bei dem ein Lot (7, 17) im Bereich einer zu reparierenden  
Stelle (3) aufgebracht wird,

wobei das Lot (7, 17) einen Bestandteil umfasst,  
dessen Schmelztemperatur niedriger ist als die  
10 Schmelztemperatur des Basismaterials, und

anschließend mittels Wärmeeinwirkung mit dem Bauteil (1)  
verlötet wird,

wobei während der Wärmeeinwirkung ein Temperaturgradient im  
Bereich der zu reparierenden Stelle derart erzeugt wird,

15 zur Erzeugung einer gerichteten Mikrostruktur in der  
reparierten Stelle (3),

die dieselbe gerichtete Mikrostruktur wie das umgebende  
Basismaterial aufweist.

20

2. Reparaturverfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass

25 der Temperaturgradient derart ausgerichtet ist, dass er in  
Richtung der Orientierung der gerichteten Mikrostruktur des  
Basismaterials des Bauteils (1) verläuft.

3. Reparaturverfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass

das Lot (17) einen ersten Bestandteil mit einer Schmelztempe-  
ratur, die niedriger ist, als die Schmelztemperatur des  
5 Basismaterials des Bauteils (1), und einen zweiten Bestand-  
teil mit einer hohen Widerstandsfähigkeit und einer Schmelz-  
temperatur, die über der Schmelztemperatur des ersten Be-  
standteils aber unterhalb der Schmelztemperatur des Basis-  
10 materials bis hin zur Schmelztemperatur des Basismaterials  
liegt, umfasst und dass das Lot (17) derart im Bereich der zu  
lötenden Stelle aufgebracht wird, dass der Anteil an erstem  
Bestandteil im Lot (17) in der Nähe (18) des Basismaterials  
höher ist, als in einem vom Basismaterial weiter entfernten  
15 Bereich (19).

4. Reparaturverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
bei dem der Temperaturgradient mittels eines optischen Heiz-  
vorgangs hergestellt wird.

20 5. Reparaturverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
bei dem der Temperaturgradient mittels eines induktiven Heiz-  
vorgangs hergestellt wird.

25 6. Reparaturverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
bei dem der Temperaturgradient mittels eines Gießofens zum  
Herstellen eines Gussteils mit direktonal gerichteter Mikro-  
struktur hergestellt wird.

30 7. Reparaturverfahren nach Anspruch 5,  
bei dem der Temperaturgradient mittels einer Hot Box herge-  
stellt wird.

35 8. Reparaturverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
bei dem eine Wärmebehandlung des Basismaterials in den Pro-  
zess des Verlöten des Lotes (7, 17) integriert ist.

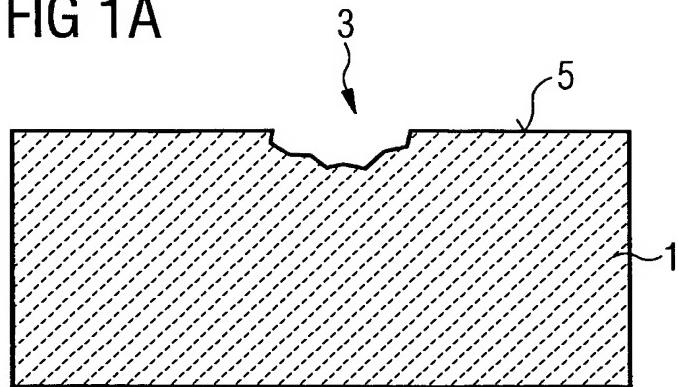
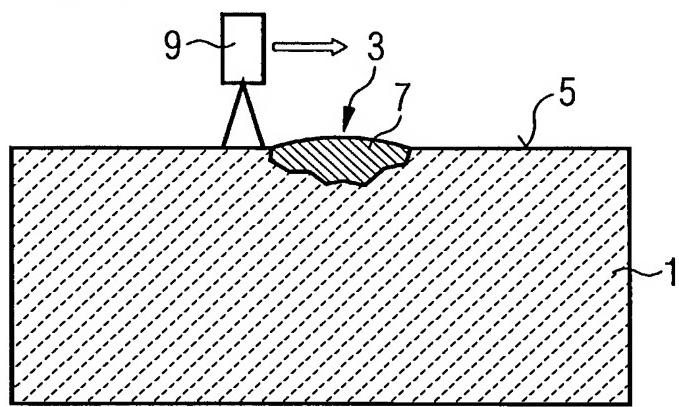
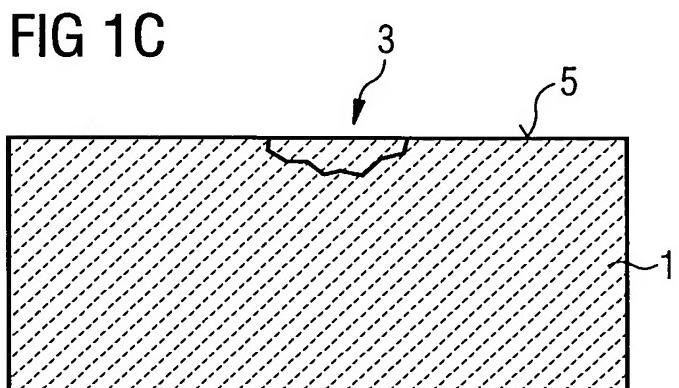
9. Reparaturverfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass

5 das Pulver des Lots zumindest teilweise, insbesondere ganz aus Nanopulver besteht.

10. Reparaturverfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass

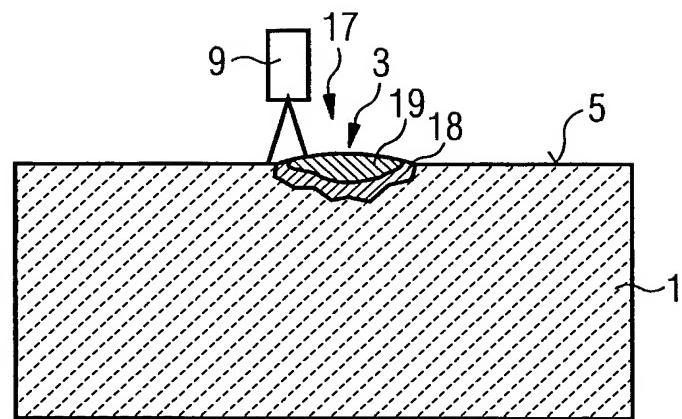
das Lot in Form einer Paste oder einer Folie in die zu reparierende Stelle eingebracht wird.

1/2

**FIG 1A****FIG 1B****FIG 1C**

2/2

FIG 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/000884

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K1/00 B23K1/002 B23K1/005 F01D5/00 B23P6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K F01D B23P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 050 477 A (R. BAUMANN ET AL) 18 April 2000 (2000-04-18) cited in the application column 1, lines 29-34	1,2,5-7, 10
Y	column 2, line 41 - column 3, line 9; figure 2 -----	3,4,8
Y	US 4 705 203 A (C.C. MCCOMAS ET AL) 10 November 1987 (1987-11-10) cited in the application column 3, line 7 - column 4, line 9; figures 3-5 -----	3
Y	US 2003/075587 A1 (R.W. SMASHEY ET AL) 24 April 2003 (2003-04-24) cited in the application paragraphs '0023! - '0027!, '0032!, '0033!; figures 1-3 -----	4
	-/-	

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

10 May 2005

30/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/000884

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 258 545 A (ALSTOM SWITZERLAND LTD) 20 November 2002 (2002-11-20) cited in the application paragraph '0023!; claim 6; figures -----	8
A	US 5 628 814 A (J.D. REEVES ET AL) 13 May 1997 (1997-05-13) column 5, line 47 - column 6, line 39; figures -----	3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/000884

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 6050477	A	18-04-2000	DE CN DE EP JP	19714530 A1 1196989 A ,C 59801674 D1 0870566 A1 10277731 A		15-10-1998 28-10-1998 15-11-2001 14-10-1998 20-10-1998
US 4705203	A	10-11-1987		NONE		
US 2003075587	A1	24-04-2003	US AU BR CA CN EP JP TR TW WO	6491207 B1 7872700 A 0008152 A 2361597 A1 1339996 A 1152863 A1 2003524526 T 200102309 T1 527251 B 0141970 A1		10-12-2002 18-06-2001 06-11-2001 14-06-2001 13-03-2002 14-11-2001 19-08-2003 21-08-2002 11-04-2003 14-06-2001
EP 1258545	A	20-11-2002	EP AT CA DE JP US	1258545 A1 283936 T 2385821 A1 60107541 D1 2003049253 A 2003066177 A1		20-11-2002 15-12-2004 14-11-2002 05-01-2005 21-02-2003 10-04-2003
US 5628814	A	13-05-1997	US US	5561827 A 5705281 A		01-10-1996 06-01-1998

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/000884

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B23K1/00 B23K1/002 B23K1/005 F01D5/00 B23P6/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 B23K F01D B23P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 050 477 A (R. BAUMANN ET AL) 18. April 2000 (2000-04-18) in der Anmeldung erwähnt Spalte 1, Zeilen 29-34	1,2,5-7, 10
Y	Spalte 2, Zeile 41 – Spalte 3, Zeile 9; Abbildung 2 -----	3,4,8
Y	US 4 705 203 A (C.C. MCCOMAS ET AL) 10. November 1987 (1987-11-10) in der Anmeldung erwähnt Spalte 3, Zeile 7 – Spalte 4, Zeile 9; Abbildungen 3-5 -----	3
Y	US 2003/075587 A1 (R.W. SMASHEY ET AL) 24. April 2003 (2003-04-24) in der Anmeldung erwähnt Absätze '0023! – '0027!, '0032!, '0033!; Abbildungen 1-3 -----	4
	-/-	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- ° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
10. Mai 2005	30/06/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/000884

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 258 545 A (ALSTOM SWITZERLAND LTD) 20. November 2002 (2002-11-20) in der Anmeldung erwähnt Absatz '0023!; Anspruch 6; Abbildungen -----	8
A	US 5 628 814 A (J.D. REEVES ET AL) 13. Mai 1997 (1997-05-13) Spalte 5, Zeile 47 – Spalte 6, Zeile 39; Abbildungen -----	3

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/000884

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6050477	A	18-04-2000		DE 19714530 A1 CN 1196989 A ,C DE 59801674 D1 EP 0870566 A1 JP 10277731 A		15-10-1998 28-10-1998 15-11-2001 14-10-1998 20-10-1998
US 4705203	A	10-11-1987		KEINE		
US 2003075587	A1	24-04-2003		US 6491207 B1 AU 7872700 A BR 0008152 A CA 2361597 A1 CN 1339996 A EP 1152863 A1 JP 2003524526 T TR 200102309 T1 TW 527251 B WO 0141970 A1		10-12-2002 18-06-2001 06-11-2001 14-06-2001 13-03-2002 14-11-2001 19-08-2003 21-08-2002 11-04-2003 14-06-2001
EP 1258545	A	20-11-2002		EP 1258545 A1 AT 283936 T CA 2385821 A1 DE 60107541 D1 JP 2003049253 A US 2003066177 A1		20-11-2002 15-12-2004 14-11-2002 05-01-2005 21-02-2003 10-04-2003
US 5628814	A	13-05-1997		US 5561827 A US 5705281 A		01-10-1996 06-01-1998